

Enrique Moltó<sup>1</sup> Santiago Alegre<sup>1</sup> Sergio Cubero<sup>1</sup> Abelardo Gutierrez<sup>1</sup> José Blasco<sup>1</sup>  
Tatiana Pina<sup>2</sup> Sara Pascual<sup>2</sup> Rafael Argilés<sup>2</sup> Pedro Castañera<sup>2</sup> Alberto Urbaneja<sup>2</sup>

# DESARROLLO DE UNA MÁQUINA PARA LA LIBERACIÓN TERRESTRE DE MACHOS ESTÉRILES DE *C. capitata*

Instituto Valenciano de Investigaciones  
Agrarias (IVIA).

Ctra. Moncada-Náquera Km. 4,5.  
46113 Moncada, Valencia.

<sup>1</sup>Centro de Agroingeniería.

<sup>2</sup>Unidad Asociada de Entomología IVIA-  
CIB (CSIC). Centro de Protección  
Vegetal y Biotecnología, (IVIA).

## Resumen:

El Centro de Agroingeniería del IVIA ha desarrollado un prototipo de una máquina para la liberación de machos estériles de *Ceratitis capitata* desde tierra. La máquina es capaz de almacenar 1,8 millones de insectos y de conservarlos en condiciones de temperatura y humedad relativa adecuadas. El prototipo se diseñó para ser económicamente factible y autónomo. Puede ser transportado por una pequeña furgoneta o *pick-up*. El cuerpo central es de polietileno y permite un aislamiento completo para preservar la temperatura de los insectos. Las adultos se mantienen en compartimentos en forma de paralelepípedo, de manera que no se amontonan los individuos en grandes cantidades. El sistema de enfriamiento del aire se basa en paneles eutécticos, ya que de este modo no se requiere un aporte de energía externa. Dentro de cada compartimento, el aire circula por medio de ventiladores eléctricos que evitan la condensación de agua y permiten el mantenimiento de una temperatura uniforme dentro de los mismos. Un sistema de control electrónico se encarga de mantener la temperatura en el rango que define el usuario. Las moscas se dosifican usando un tornillo sinfín y son lanzadas por el flujo de aire generado por un ventilador centrífugo que requiere 1,9 kilovatios de una fuente externa. Las moscas se dirigen hacia las copas de los árboles objetivo usando dos tubos flexibles. Las pruebas de campo, realizadas en colaboración con la Unidad Asociada de Entomología del IVIA-CIB CSIC, demostraron que su eficacia es equivalente al sistema de liberación manual.

## Introducción

La finalidad última de un programa de lucha autocida mediante la técnica del insecto estéril contra la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wiedemann), es conseguir que se reduzca la población de la plaga introduciendo machos estériles, obtenidos en crías masivas, que, al acoplarse con las hembras salvajes, hagan que éstas no tengan descendencia. Para que el sistema sea eficaz, es necesario que exista una sobreabundancia de machos estériles respecto a las poblaciones de machos salvajes. Para ello, se realizan sueltas masivas de machos estériles, normalmente desde avionetas. Durante el proceso de empaquetado, transporte hasta el aeropuerto y suelta de los insectos, éstos se deben mantener en condiciones de temperatura y humedad adecuadas, para que sobrevivan en el ambiente natural y no pierdan su capacidad de competencia frente a los insectos salvajes después de su liberación.

La suelta desde avionetas tiene la ventaja de que permite abarcar rápidamente una gran cantidad de superficie de cultivo. Además, la suelta desde lo alto permite una rápida dispersión de los insectos. Sin embargo, las condiciones meteorológicas a menudo impiden los vuelos de las avionetas. Igualmente, existen zonas del territorio en las que es demasiado arriesgado emplear este sistema debido a su orografía o a que se producen frecuentemente corrientes de aire que dificultan su empleo. Por este motivo, se necesitan sistemas de suelta de insectos desde tierra, no para sustituir a las liberaciones aéreas, sino para complementarlas. La libe-

ración terrestre tiene unos condicionantes técnicos distintos a los de la liberación aérea. En primer lugar, la velocidad de desplazamiento del vehículo es mucho menor, pues ha de moverse a través de caminos y sendas en las áreas de cultivo. En segundo lugar, la capacidad de dispersión de los insectos es menor, ya que es más difícil utilizar la altura y el viento natural como agente dispersor. Por ambos motivos, las moscas que han de ser liberadas por tierra a menudo necesitan que se mantengan las condiciones de temperatura y humedad durante más tiempo que en el caso de la suelta aérea.



En la actualidad, la suelta terrestre se ha realizado experimentalmente con métodos manuales bastante rudimentarios. Una vez recibidas las pupas, se hacen emerger a los adultos en recipientes cerrados de plástico (mini *PARC boxes*), los cuales son posteriormente liberados por operarios que vacían dichas cajas desde un vehículo. Con este sistema no se garantiza que los insectos se conserven en las condiciones idóneas durante mucho tiempo, por lo que es solamente adecuado para liberaciones en pequeñas superficies y en zonas próximas a los centros en los que se produce la emergencia del insecto. Además, la operación requiere un equipo de dos personas, además del conductor, que ha de realizar una tarea tediosa y repetitiva.

Por este motivo, en el marco del proyecto europeo "Cleanfruit", se encomendó al Centro de Agroingeniería del IVIA la tarea de diseñar, construir y ensayar un prototipo de máquina para la liberación terrestre de insectos estériles (MLT) con los siguientes condicionantes técnicos:

- 1) capacidad para lanzar 1,8 millones de insectos por jornada laboral,
- 2) mantenimiento aceptable de los estándares de supervivencia y calidad de los insectos durante el transporte y suelta,
- 3) funcionamiento automático, autónomo y económicamente viable.

El objetivo del presente artículo es explicar los pasos que se siguieron para el diseño y puesta a punto de la máquina, así como demostrar su eficacia para la suelta terrestre de insectos a través de compara-

ciones de sueltas realizadas con ella y manualmente.

### Descripción de la máquina diseñada

El prototipo de máquina de liberación terrestre consta de un cuerpo principal, donde se almacenan los insectos hasta ser liberados, en condiciones predefinidas de temperatura y humedad relativa, y de un sistema de lanzamiento de las moscas compuesto por un ventilador y por dos conductos flexibles y orientables. Toda la máquina se puede montar sobre un vehículo tipo *pick-up* o una furgoneta. La potencia eléctrica para el cuerpo principal se consigue a través de una batería convencional de coche, independiente de la del vehículo, que se conecta en paralelo con la de éste cuando el motor se pone en marcha, lo que permite su recarga.

El cuerpo principal de la máquina es una cámara, construida sobre una caja estanca a base de polietileno, que incorpora un sistema de recirculación de aire basado en ventiladores y conductos diseñados específicamente para evitar la condensación del agua y uniformizar la temperatura.

Tras ensayar sistemas de refrigeración electrónicos, basados en células de efecto Peltier y comprobar que se requería mucha energía para que fuesen eficientes, se ensayó una solución con paneles eutécticos, la cual resultó un éxito desde el punto de vista de la conservación de la temperatura y el coste (Fig. 1).

El interior del cuerpo principal de la máquina está formado por un sistema de compuertas, gobernado por motores eléctricos, que al cerrarse generan 4 compartimentos, cada uno de ellos con una capaci-

dad de 450.000 moscas. De este modo se evitan las pérdidas por aplastamiento debidas a la creación de columnas de moscas (Fig. 2). Las compuertas se pueden abrir de manera sucesiva, a intervalos de tiempo programados, descargando así de manera automática las moscas sobre el sistema dosificador.

Las condiciones de temperatura y de dosificación de moscas se controlan mediante un sistema electrónico especialmente diseñado. En el interior del cuerpo principal se dispone un sensor de temperatura conectado al procesador central. Cuando éste detecta que la temperatura asciende, automáticamente pone en funcionamiento los ventiladores hasta que la temperatura vuelve a estar dentro del rango de consigna. La dosificación se realiza mediante un tornillo sinfín, cuya velocidad también es controlada por el microprocesador, en función de los parámetros que establece el operario.

Los insectos, tras pasar por el tornillo sinfín, caen sobre el flujo de aire producido por un ventilador y, a través de dos conducciones, son liberados a uno o a ambos lados de la máquina a medida que el vehículo se desplaza. Las conducciones, en forma de tubo, son orientables y pueden adaptarse a la altura de los árboles.

La liberación se realiza de modo automático, por lo que el operario solamente interviene en el proceso antes de iniciar el trabajo. Una vez iniciada la suelta, solamente debe pulsar un botón de pausa en la caja de control electrónico diseñada al efecto si desea detener el proceso (Fig. 3).

Un esquema de la máquina y los puntos críticos del diseño se muestran en la figura 4.





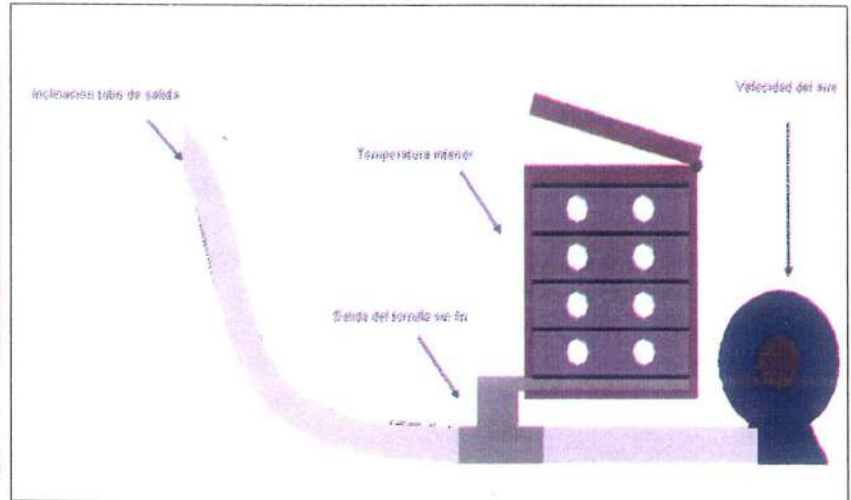
**Figura 1.-** Producción de frío a base de módulos eutécticos.



**Figura 2.-** Carga de la máquina. Se observan las compuertas abatibles que una vez cerradas forman los compartimentos de las moscas.



**Figura 3.-** Mando electrónico de la MLT.



**Figura 4.-** Puntos críticos de diseño.

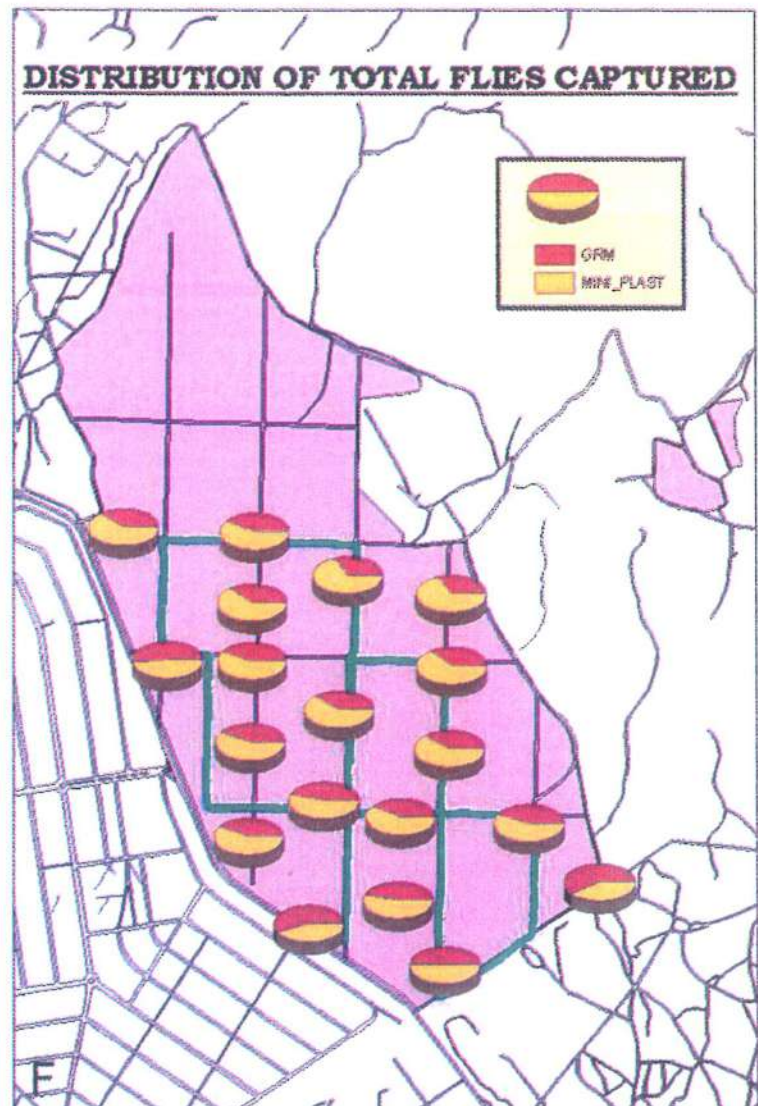


**Figura 5.-** Suelta manual con los mini PARC boxes de insectos estériles.



**Figura 6.-** Ensayos de campo. Liberación automática de insectos con la MLT.

**Figura 7.-** Porcentajes de machos estériles capturados tras la liberación terrestre por métodos manuales (amarillo) y mediante la MLT (verde) a lo largo de la parcela ensayada. En rojo se representa la ruta de liberación.





## Calibración de la máquina y ajuste de parámetros de diseño

Una vez diseñado el cuerpo principal y los sistemas básicos de la máquina se realizaron ensayos para:

- 1) evaluar la capacidad de la máquina para preservar la calidad de las moscas,
- 2) calibrar el sistema de dosificación (determinar las dosis de liberación en función de la velocidad de rotación del tornillo sinfín),
- 3) determinar los parámetros óptimos de funcionamiento relacionados con la temperatura de almacenamiento, la forma y disposición de los tubos de salida y la velocidad del flujo de aire.

En los tres casos, se trató de evaluar la influencia de determinados valores de consigna y de algunos parámetros del diseño sobre la calidad de las moscas liberadas. Para realizar los ensayos se utilizaron pupas de machos estériles de aproximadamente 12 días de edad procedentes de diversos envíos de la planta de producción de Mendoza (Argentina). Los adultos se hacían emerger en la planta de emergencia ubicada en el IVIA y se mantenían en condiciones controladas, alimentados con dieta azucarada suministrada en bloques de agar con sacarosa. Las liberaciones se realizaron al quinto día de edad, tiempo estimado para alcanzar la madurez sexual. El control de la calidad de los insectos se realizó a través de ensayos de capacidad de vuelo y de longevidad bajo estrés. Estas pruebas se describen en el protocolo FAO/IAEA/USDA (2003).

Durante los ensayos los inse-

tos se mantuvieron a dos temperaturas de referencia (6 y 11 °C), para determinar cuál de las dos permitía una mejor manipulación de los mismos. Asimismo, se evaluaron dos velocidades del tornillo sinfín (2 y 3 rpm), tres velocidades medias de salida de aire de al final de los tubos (13, 20 y 27 m/s), tres inclinaciones de los tubos de salida (paralelo al suelo o inclinado aprox. 45° con y sin una ligera curvatura) y dos longitudes del tubo (1 m y 2,85 m). Todo ello con el objetivo de comprobar si estos parámetros influían sobre la calidad de las moscas liberadas.

Las pruebas de calidad se realizaron con cinco réplicas de cien individuos cada una, de ellas y en cada uno de los experimentos, recogiendo los individuos, en función de la característica de diseño estudiada, bien directamente en los puntos críticos tras el funcionamiento de la máquina durante un tiempo suficiente, bien a la salida de los tubos mediante unas redes.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA), empleando el test de Tukey, con  $p < 0,05$  para la separación de medias (SPSS, 1999). El porcentaje de la reducción de la calidad de las moscas se calculó mediante la fórmula de Abbott (1925).

El control de calidad de las moscas demostró que el hecho de que el tubo tuviese una ligera curvatura reducía considerablemente la calidad de las moscas, sobre todo, a velocidades de aire elevadas, probablemente debido a los choques en la zona de la curvatura. Asimismo, se constató que cuando el tubo se situaba horizontalmente, se producían mermas similares a cuando el tubo se colocaba inclinado a 45° y la velocidad de aire era

más lenta. Así pues, se optó por el tubo inclinado 45°, por ser la que, *a priori*, puede producir una mayor dispersión al elevar las moscas por encima de los árboles. Por otro lado, las velocidades altas del tornillo sinfín afectaban menos a la capacidad de vuelo de las moscas, aunque no a su longevidad bajo estrés. Ello se debe probablemente a que se mantiene durante menor tiempo la fricción de las moscas con las partes interiores de la máquina. La calidad de las moscas se mantenía dentro de parámetros adecuados tanto a 6 °C como a 11 °C incluso tras 4 horas de permanencia en la máquina.

Por tanto, para las pruebas en campo se optó por una temperatura de 6°C, una velocidad de tornillo sinfín de 3 rpm, una velocidad del aire de ventilador de 20 m/s y tubo largo e inclinado 45°.

## Ensayo de campo

Para validar los datos obtenidos en los experimentos de laboratorio y comprobar la eficacia en campo de la suelta terrestre con la máquina se realizó un ensayo dentro de una finca comercial situada en Serra (Valencia). La finca tiene una superficie de 180 ha y está plantada en su mayoría con naranjas navel y clementinas. La finca puede considerarse relativamente aislada del efecto de otras zonas de producción citrícola en cuanto a infestación por *C. capitata* se refiere. Los ensayos se realizaron en la primavera de 2006 y durante los mismos no se aplicó ningún tratamiento químico.

Las sueltas realizadas con la máquina se compararon con la suelta manual con los mini *PARC boxes* (Fig. 5). En ambos casos las pupas habían emergido en los mini *PARC boxes* si bien se tiñeron con



un color diferente en función del sistema de liberación de los adultos: verde (adultos liberados con la máquina) o amarillo (adultos liberados con los mini *PARC boxes*). En ambos casos se liberó un total de 500.000 adultos aproximadamente.

La liberación manual se realizó por dos operarios situados en la parte trasera de un vehículo, conducido por un tercero, que vaciaban las cajas donde se encontraban las moscas, a razón de 3 cajas por minuto (aproximadamente 7.000 moscas/caja), a medida que el vehículo avanzaba a una velocidad de 20 km/h por una trayectoria predefinida de 8,5 km.

La MLT se ajustó para liberar la cantidad equivalente de moscas, a la misma velocidad que en la suelta anterior, manteniendo las moscas a una temperatura constante de 6 °C y con una salida de aire de 20 m/s. La liberación se realizó siguiendo la misma trayectoria que en el caso anterior, dejando 30 minutos de diferencia, con el fin de que el segundo vehículo no dañase las moscas liberadas con el sistema manual que pudiesen permanecer sobre la ruta (Fig. 6).

En la finca se distribuyeron de manera uniforme trampas de tipo Nadel y de tipo Tephri cebadas con trimedlure y se realizaron conteos tras el primer, cuarto y sexto día después de la liberación, distinguiendo bajo lupa binocular entre insectos teñidos en amarillo (procedentes de la suelta manual) e insectos teñidos en verde (procedentes de la máquina).

Asimismo se realizaron ensayos de capacidad de vuelo y de longevidad bajo estrés, antes y después de realizar la liberación.

En el experimento de campo no se encontraron diferencias significativas en las capturas totales de las moscas entre los dos sistemas de lanzamiento probados. Las moscas lanzadas con la máquina de liberación terrestre fueron capturadas en números similares a las liberadas manualmente con los mini *PARC boxes*. Además se observó el mismo patrón de distribución de capturas a lo largo de la trayectoria de liberación en ambos sistemas (Fig. 7).

### Conclusiones

El diseño de la máquina satisfizo todos los requerimientos que se necesitaban para la liberación de insectos estériles desde tierra. La máquina demostró su capacidad para almacenar un alto volumen de insectos estériles y mantener un nivel de supervivencia y una calidad de los individuos aceptable durante el transporte y la liberación. Las moscas fueron preservadas correctamente en las dos temperaturas probadas.

La disposición de los tubos de salida es uno de los condicionantes más importantes para preservar la calidad de la mosca, principalmente la capacidad del vuelo. Se obtuvo una mejor calidad de moscas cuando el tornillo sinfín iba a la más alta de las velocidades ensayadas y a velocidades de aire bajas y medias.

El ensayo de campo, realizado al mismo tiempo con la máquina de liberación terrestre y con la liberación manual de moscas emergidas en mini *PARC boxes*, demostró que la máquina se pueden considerar como un sistema eficaz de liberación de los machos estériles de *C. capitata* dentro un programa de

reducción de poblaciones de la mosca del mediterráneo mediante la técnica del insecto estéril.

### Agradecimientos

Este trabajo fue co-financiado por la Comunidad Europea mediante el proyecto de investigación "CLEANFRUIT" (FOOD-CT-2003-506495) y por los fondos FEOGA de la Comunidad Europea. Los autores agradecen a la empresa TRAGSA su colaboración en la realización de los ensayos, a la empresa de maquinaria agrícola Bonanza S.L. la cesión del remolque sobre el que se situó la máquina y a la empresa Cañamas Hermanos, S.A. la cesión de sus parcelas para realizar los experimentos.

### Referencias

- Abbott, W.S. 1925. Un método de computar la eficacia de un insecticida. J. Econ. Entomol. 18:265 - 267.
- FAO/IAEA/USDA. 2003. Manual para los procedimientos para las moscas de fruta Masa-Alzadas estériles de Tephritid, versión 5.0 del control de calidad y del envío del producto. Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria. 85pp.
- SPSS, 1999. User Manual, versión 10.0. SPSS, Chicago, IL. 581 pp.